



Docket No. 1232-5298

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant(s): SASAKI, et al.

Group Art Unit: TBA

Serial No.: 10/783,788

Examiner: TBA

Filed: February 20, 2004

For: CATOPTRIC PROJECTION OPTICAL SYSTEM

CERTIFICATE OF MAILING (37 C.F.R. §1.8(a))

Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

I hereby certify that the attached:

1. Claim to Convention Priority w/1 document
2. Certificate of Mailing
3. Return postcard receipt

along with any paper(s) referred to as being attached or enclosed and this Certificate of Mailing are being deposited with the United States Postal Service on date shown below with sufficient postage as first-class mail in an envelope addressed to the: Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450.

Respectfully submitted,
MORGAN & FINNEGAN, L.L.P.

Dated: April 8, 2004

By: Helen Tiger
Helen Tiger

Correspondence Address:

MORGAN & FINNEGAN, L.L.P.
345 Park Avenue
New York, NY 10154-0053
(212) 758-4800 Telephone
(212) 751-6849 Facsimile



CUSTOMER NO. 27123

Docket No. 1232-5298

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant(s): SASAKI, et al.

Group Art Unit: TBA

Serial No.: 10/783,788

Examiner: TBA

Filed: February 20, 2004

For: CATOPTRIC PROJECTION OPTICAL SYSTEM

CLAIM TO CONVENTION PRIORITY

Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

In the matter of the above-identified application and under the provisions of 35 U.S.C. §119 and 37 C.F.R. §1.55, applicant(s) claim(s) the benefit of the following prior application(s):

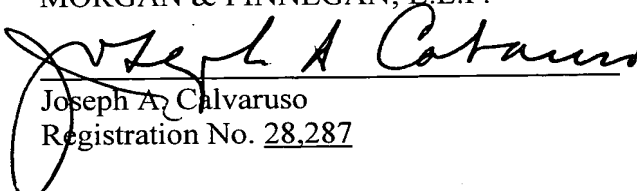
Application(s) filed in: Japan
In the name of: Canon Kabushiki Kaisha
Serial No(s): 2003-044891
Filing Date(s): February 21, 2003

- ☒ Pursuant to the Claim to Priority, applicant(s) submit(s) a duly certified copy of said foreign application.
- ☐ A duly certified copy of said foreign application is in the file of application
Serial No. _____, filed _____.

Dated: April 7, 2004

Respectfully submitted,
MORGAN & FINNEGAN, L.L.P.

By:


Joseph A. Calvaruso
Registration No. 28,287

Correspondence Address:
MORGAN & FINNEGAN, L.L.P.
345 Park Avenue
New York, NY 10154-0053
(212) 758-4800 Telephone
(212) 751-6849 Facsimile

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 3 年 2 月 2 1 日
Date of Application:

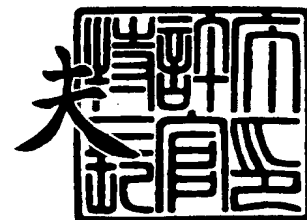
出 願 番 号 特 願 2 0 0 3 - 0 4 4 8 9 1
Application Number:
[ST. 10/C]: [J P 2 0 0 3 - 0 4 4 8 9 1]

出 願 人 キヤノン株式会社
Applicant(s):

2 0 0 4 年 3 月 8 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康 夫



【書類名】 特許願

【整理番号】 252362

【提出日】 平成15年 2月21日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 H01L 21/027
G02B 17/08
G03F 7/20

【発明の名称】 反射型投影光学系

【請求項の数】 1

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社
社内

【氏名】 佐々木 隆洋

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社
社内

【氏名】 須永 敏弘

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社
社内

【氏名】 畠山 弘至

【特許出願人】

【識別番号】 000001007

【氏名又は名称】 キヤノン株式会社

【代理人】

【識別番号】 100110412

【弁理士】

【氏名又は名称】 藤元 亮輔

【電話番号】 03-3523-1227

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 062488

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0010562

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 反射型投影光学系

【特許請求の範囲】

【請求項1】 物体面上のパターンを像面上に投影する反射型投影光学系であって、

前記像面から光路を辿って2番目のミラーに集光光束が入射すると共に、当該ミラーの近軸倍率が -0.14 以下であることを特徴とする反射型投影光学系。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、一般には、露光装置に係り、特に、紫外線や極端紫外線（EUV：extreme ultraviolet）光を利用して半導体ウェハ用の単結晶基板、液晶ディスプレイ（LCD）用のガラス基板などの被処理体を投影露光する反射型投影光学系に関する。

【0002】

【従来の技術】

近年の電子機器の小型化及び薄型化の要請から、電子機器に搭載される半導体素子の微細化への要求はますます高くなっている。例えば、マスクパターンに対するデザインルールはライン・アンド・スペース（L&S） $0.1\mu\text{m}$ 以下の寸法線を広範囲に形成することが要求され、今後は更に 80nm 以下の回路パターン形成に移行することが予想される。L&Sは、露光においてラインとスペースの幅が等しい状態でウェハ上に投影された像であり、露光の解像度を示す尺度である。

【0003】

半導体製造用の代表的な露光装置である投影露光装置は、マスク又はレチクル（なお、本出願ではこれらの用語を交換可能に使用する。）上に描画されたパターンをウェハに投影露光する投影光学系を備えている。投影露光装置の解像度（正確に転写できる最小寸法） R は、光源の波長 λ と投影光学系の開口数（NA）を用いて次式で与えられる。

【0004】

【数1】

$$R = k_1 \times \lambda / NA$$

【0005】

従って、波長を短くすればするほど、及び、NAを上げれば上げるほど、解像度はよくなる。近年では、解像度はより小さい値を要求されNAを上げるだけではこの要求を満足するには限界となっており、短波長化により解像度の向上を見込んでいる。現在では、露光光源は、KrFエキシマレーザー（波長約248nm）及びArFエキシマレーザー（波長約193nm）からF₂レーザー（波長約157nm）に移行しており、更には、EUV（extreme ultraviolet）光の実用化も進んでいる。

【0006】

しかし、光の短波長化が進むと光が透過する硝材が限られてしまうために屈折素子、即ち、レンズを多用することは難しく、投影光学系に反射素子、即ち、ミラーを含めることが有利になる。更に、露光光がEUV光になると使用できる硝材は存在なくなり、投影光学系にレンズを含めることは不可能となる。そこで、投影光学系（例えば、多層膜ミラー）のみで構成する反射型投影光学系が提案されている。

【0007】

反射型投影光学系においては、ミラーにおける反射率を高めるために反射した光が強め合うようミラーには多層膜が形成されている。多層膜ミラーには、小さな入射角度の光線に対して高い反射率が得られるように最適化した多層膜ミラーの場合には、大きな入射角度の分布に対しても高い反射率が得られるが、大きな入射角度の光線に対して高い反射率が得られるように最適化した多層膜ミラーの場合には、小さな入射角度の分布に対してしか高い反射率は得られないという特性がある。

【0008】

具体的には、モリブデン及びシリコンからなる40層の均一周期の多層膜ミラーで60%以上の反射率を得られる入射角度の領域は、0度の入射角度に対して最適化された場合で0度乃至13度、15度の入射角度に対して最適化された場合で10度乃至17度である。入射角度の分布が大きな場合には、位置によって多層膜の周期を変調した傾斜膜など複雑な構成の多層膜ミラーを使用する必要があるが生じる。

【0009】

また、反射型投影光学系は、光学系全体での反射率を高めるためにできるだけ少ない枚数のミラーで構成することが望ましく、マスクとウェハの機械的な干渉を防止するため、マスクとウェハが瞳を介して反対側に位置するよう投影光学系を構成するミラーの枚数は偶数枚であることが望ましい。

【0010】

更に、EUV露光装置に要求される線幅（解像度）が従来の値より小さくなってきたためNAを上げる必要があるが（例えば、波長13.5nmにおいてNA0.2）、従来の3枚乃至4枚のミラーでは、波面収差を減らすことが困難である。そこで、波面収差補正の自由度を増やすためにもミラーを非球面にすると共にミラーの数を6枚程度にする必要が生じてきており（以下、本出願では、かかる光学系を6枚ミラー系と称する場合もある。）、この種の6枚ミラー系が数多く提案されている（例えば、特許文献1及び2参照。）。

【0011】

【特許文献1】

米国特許第6033079号

【特許文献2】

国際公開第02/056114A2号パンフレット

【0012】

【発明が解決しようとする課題】

特許文献1には、6枚ミラー系の典型的な反射型投影光学系が2つ開示されている。かかる反射型投影光学系は、物体面からの入射光を受け、第1の反射面乃

至第4の反射面までの4枚のミラーで中間像を形成し、かかる中間像を凸面形状の第5の反射面及び凹面形状の第6の反射面を介して像面上に再結像させている。このような構成となるのは、高NAを実現するためには第6の反射面上に光束を大きく広げて入射させ、一度に像面上に集光させる必要があるからである。従って、第6の反射面の有効径が大きくなり、第6の反射面でケラレずに第5の反射面に入射させるためには第4の反射面の後で中間像を形成する必要がある。

【0013】

しかし、かかる場合、第5の反射面には発散光束が入射することになり、第5の反射面上の入射角度の分布が大きくなってしまう。第1実施例には、 $NA=0.25$ 、1mm幅の円弧状視野の光学系が開示されており、第5の反射面での入射角度の最大値は17.1度、最小値は0.4度となり、入射角度の分布は16.7度となっている。

【0014】

従って、上述した多層膜ミラーの特性の影響を考えると、第5の反射面での入射角度の最大値及び入射角度の分布が大きいために反射率の劣化が顕著に現れ、スループットの低下を招いてしまう。

【0015】

一方、特許文献2にも6枚ミラー系の反射型投影光学系が開示されている。かかる反射型投影光学系は、特許文献1に開示された反射型投影光学系とは異なり、第2の反射面の後で中間像を形成し、第5の反射面には粗平行光束が入射している。かかる光学系は、第5の反射面に平行光束を入射させているため入射角度はいくらか改善され、 $NA=0.25$ 、2mm幅の円弧状視野の場合、第5の反射面での入射角度の最大値は17度、最小値は5.5度となり、入射角度の分布は11.4度となっている。

【0016】

しかし、入射角度の分布が十分に小さいとは言えず、第5の反射面での反射率の劣化によるスループットの低下を引き起こしてしまう。また、第1の反射面が凹面形状を有しているため、第1の反射面からの射出光束と光軸とのなす角が大きくなっており、それを反映して第3の反射面と第4の反射面の有効径が非常に

大きくなっている。特に、第5の反射面の有効径は、NAを0.25にした場合に650mm程度になると考えられ、装置の大型化及び加工計測の点から実現が困難である。

【0017】

更に、現在、EUV光を射出する光源は、効率の低いものしか実現されておらず、かかる状況からも第5の反射面による反射率の劣化を改善しなければ、高いスループットを達成することはできない。

【0018】

そこで、本発明は、EUVリソグラフィーに適用可能で、高NA、且つ、ミラーの最大有効径及び光学系の全長が小さく、スループットに優れた6枚ミラー系を実現することができる反射型投影光学系を提供することを例示的目的とする。

【0019】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために、本発明の一側面としての反射型投影光学系は、物体面上のパターンを像面上に投影する反射型投影光学系であって、前記像面から光路を辿って2番目のミラーに集光光束が入射すると共に、当該ミラーの近軸倍率が-0.14以下であることを特徴とする。

【0020】

本発明の他の目的又はその他の特徴は、以下添付図面を参照して説明される好ましい実施例によって明らかにされるであろう。

【0021】

【発明の実施の形態】

以下、添付図面を参照して、本発明の一側面としての反射型投影光学系について説明する。なお、各図において同一の部材については同一の参照番号を付し、重複する説明は省略する。ここで、図1は、本発明の一側面としての反射型投影光学系100の例示的一形態及びその光路を示した概略断面図である。また、図2は、図1に示す反射型投影光学系100の別の形態を示した反射型投影光学系100A及びその光路を示す概略断面図である。なお、以下の説明において特に断らない限り、反射型投影光学系100は、反射型投影光学系100Aを総括す

るものとする。

【0022】

図1を参照するに、本発明の反射型投影光学系100は、物体面MS（例えば、マスク面）上のパターンを像面W（例えば、基板などの被処理体面）上に縮小投影する反射型投影光学系であって、特に、EUV光（10nm乃至15nm、好ましくは、波長13.4nm乃至13.5nm）に好適な光学系である。

【0023】

反射型投影光学系100は、6枚のミラーを有し、基本的に、物体面MS側から光を反射する順番に、第1のミラー（凸面鏡又は平面鏡）M1と、第2のミラー（凹面鏡）M2と、第3のミラー（平面鏡）M3と、第4のミラー（凹面鏡）M4と、第5のミラー（凸面鏡）M5と、第6のミラー（凹面鏡）M6とを有し、第1のミラーM1及び第2のミラーM2の2枚のミラーによって中間像IMを結像させ、かかる中間像IMを第3のミラーM3乃至第6のミラーM6の4枚のミラーで像面W上に再結像するように構成されている。

【0024】

第5のミラーM5での入射角度は、通常、比較的大きいことに加えて入射角度の分布も大きいため、多層膜を施した際に反射率の劣化が問題となるが、本発明の反射型投影光学系100では、第5のミラーM5に集光光束を入射させることで反射率の劣化を抑えている。

【0025】

反射型投影光学系100は、中間像IM面とミラーの配置を一致させておらず、ゴミの転写やエネルギー集中による収差の発生を低減させる構成となっている。また、反射型投影光学系100は、開口絞りを第2のミラーM2上に配置しており、開口絞りを配置しやすい構成としている。更に、物体面MSから像面Wの間に全てのミラーが含まれており、マスクステージ及びウェハステージ等の配置が容易であるという特徴も有する。

【0026】

更に、本発明の反射型投影光学系100は、構成する6枚のミラーのうち、最も有効径の大きい第4のミラーM4において最大有効径が小さいという特徴や、

光学系の全長が小さいという特徴があるが、詳しい値に関しては後述する。

【0027】

反射型投影光学系100は、物体面MSから第1のミラーM1へ入射する光線は非テレセントリックであって、且つ、像面W側の射出光線はテレセントリックであることも特徴となっている。例えば、照明光学系によって物体面MSに配置されたマスクを照明し、その像を像面Wに配置されたウェハ上に結像するためには、物体面MS側はある入射角を有することが必須となる。一方、像面W側は、例えば、像面Wに配置されるウェハが光軸方向に移動しても倍率の変化を少なくするために、テレセントリックにすることが望ましい。

【0028】

反射型投影光学系100は、基本的には、1本の光軸の回りに軸対称な共軸光学系であり、光軸を中心としたリング状の像面で収差が補正されるため好ましいという長所を有している。但し、収差補正上又は収差調整上、反射型投影光学系100を構成する6枚のミラーが完全な共軸系となるように配置される必要はなく、若干の偏心をさせて収差を改善したり、配置上の自由度を向上させたりしてもよい。

【0029】

反射型投影光学系は、EUV光を用いる光学系では必須と考えられており、更なる高NA化が求められるにつれて、像面W側で光線のケラレをできるだけ排除する必要がある。本実施形態では、中間像IMを第2のミラーM2と第3のミラーM3との間に形成し、更に、第5のミラーM5と第6のミラーM6のパワーを大きくすることにより、高NAで光線のケラレを抑えた所望の光学系を構成することが可能である。なお、NAを大きく、且つ、バックフォーカスを保って結像させるためには、第5のミラーM5を凸面鏡、第6の反射鏡M6を凹面鏡にすることが好ましい。

【0030】

また、反射型投影光学系100において、第1のミラーM1は、第1のミラーM1からの射出光束と光軸とのなす角を小さくするために凸面鏡又は平面鏡であることが好ましい。第1のミラーM1乃至第6のミラーM6の曲率半径を r_1 乃

至 r_6 とした場合、以下の数式 2 及び数式 3 で示すようなペッツバル項の和がゼロ近傍、好ましくはゼロになることが必要である。第 5 のミラー M5 は、凸面鏡であるが、それ以外のミラーにも凸面鏡又は平面鏡を用いることによってペッツバル項の和を小さくしやすく、換言すれば、像面を平坦にしやすい効果がある。

【0031】

【数 2】

$$\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} + \frac{1}{r_5} - \frac{1}{r_6} \doteq 0$$

【0032】

【数 3】

$$\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} + \frac{1}{r_5} - \frac{1}{r_6} = 0$$

【0033】

本発明である反射型投影光学系 100 は、6 枚のミラーで構成されているが、少なくとも 1 枚以上が非球面であればよく、かかる非球面の形状は、数式 4 に示す一般的な非球面の式で表される。但し、ミラーを非球面で構成することは収差を補正する上で好ましいという長所を有しており、できるだけ多くのミラー（好ましくは、6 枚）を非球面で構成するとよい。

【0034】

【数 4】

$$Z = \frac{ch^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2h^2}} + Ah^4 + Bh^6 + Ch^8 + Dh^{10} + Eh^{12} + Fh^{14} + Gh^{16} + Hh^{18} + Jh^{20} + \dots$$

【0035】

数式4において、 Z は光軸方向の座標、 c は曲率（曲率半径 r の逆数）、 h は光軸からの高さ、 k は円錐係数、 A 、 B 、 C 、 D 、 E 、 F 、 G 、 H 、 J 、 \dots は各々、4次、6次、8次、10次、12次、14次、16次、18次、20次、 \dots の非球面係数である。

【0036】

第1のミラーM1乃至第6のミラーM6の表面には、EUV光を反射させる多層膜が施されており、かかる多層膜により光を強め合う作用を奏する。波長20nm以下のEUV光を反射することが可能な多層膜は、例えば、モリブデン（Mo）層とシリコン（Si）層を交互に積層したMo/Si多層膜や、Mo層とベリリウム（Be）層を交互に積層したMo/Be多層膜などが考えられ、使用波長によって最適な材料を選択する。但し、本発明の多層膜は、上記した材料に限定されず、これと同様の作用及び効果を有する多層膜を適用することができる。

【0037】

ここで、本発明の反射型投影光学系100及び100Aを用いて照明実験した結果について説明する。図1及び図2において、MSは物体面位置に置かれた反射型マスク、Wは像面位置に置かれたウェハを示している。

【0038】

反射型投影光学系100及び100Aにおいて、波長13.4nm付近のEUV光を放射する図示しない照明系によりマスクMSが照明され、マスクMSからの反射EUV光が、第1のミラー（凸面鏡又平面鏡）M1、第2のミラー（凹面鏡）M2、第3のミラー（平面鏡）M3、第4のミラー（凹面鏡）M4、第5のミラー（凸面鏡）M5、第6のミラー（凹面鏡）M6の順に反射し、像面位置に置かれたウェハW上にマスクパターンの縮小像を形成している。

【0039】

なお、反射型投影光学系100及び100Aは、第1のミラーM2と第2のミラーM2で中間像IMを結像させ、かかる中間像IMを第3のミラーM3乃至第6のミラーM6でウェハW上に再結像するように構成されている。

【0040】

但し、第1のミラーM1の面形状には種々の可能性があり、図1に示す反射型投影光学系100には第1のミラーが凸面鏡である場合、図2に示す反射型投影光学系100Aには第1のミラーが平面鏡である場合を示している。

【0041】

なお、図1に示す反射型投影光学系100において、像側の開口数 $NA=0.24$ 、縮小倍率 $=1/4$ 、物体高 $=128\text{ mm}$ 乃至 136 mm の 2 mm 幅の円弧状視野である。ここで、図1の反射型投影光学系100の数値（曲率半径、面間隔、非球面係数など）を表1に示す。

【0042】

【表1】

ミラー番号	曲率半径		面間隔
MS(マスク)	∞		491.89136
M1	3842.26663		-391.89136
M2	632.52970		782.33141
M3	∞		-340.56806
M4	587.99023		347.08332
M5	179.04357		-296.95531
M6	384.58260		340.95531
W(ウェハ)	∞		
非球面係数	K	A	B
M1	-267.466169	-0.780043944E-8	0.413260127E-12
M2	-2.62843602	0.1771126504E-8	-0.104963421E-13
M3	0	-0.181104227812E-8	0.35455238427E-13
M4	-0.501489651051	-0.499638591354E-10	0.551481326761E-15
M5	0.652185965963	0.128818331391E-7	-0.122530514853E-11
M6	0.0422385684211	0.631614287722E-10	0.118302622927E-14
	C	D	E
M1	0.821038E-16	-0.2002547E-19	0.340695911E-23
M2	0.216367766343E-18	-0.705067342902E-21	0.45932705835E-24
M3	-0.65672698442E-18	0.252500625965E-22	-0.293865288006E-27
M4	0.621448231393E-19	-0.685646752963E-24	-0.54845472391E-29
M5	0.12745886225E-15	0.157924483326E-18	-0.265980125498E-21
M6	0.263860018168E-19	-0.553148373653E-23	0.953035608666E-27

【0043】

図1に示す反射型投影光学系100の製造誤差を含まない収差は、波面収差＝

5 5 λ r m s、 $|$ 歪曲最大値 $| = 2$ n mである。

【 0 0 4 4 】

反射型投影光学系 1 0 0 では、第 1 のミラー M 1 が凸面鏡であるため、第 1 のミラー M 1 からの射出光束と光軸とのなす角を小さくすることができ、光束を光軸近傍でとりまわすことが可能となる。更に、第 2 のミラー M 2 から第 3 のミラー M 3 へ入射する光束と第 4 のミラー M 4 から第 5 のミラー M 5 へ入射する光束を交差させており、光束が光軸から大きく離れることを防いでいる。その結果、有効径の最大値は約 4 3 0 m m と非常に小さくなっており、加工計測の点で大きな利点となる。また、光束を光軸近傍でとりまわす際には、有効径が大きな第 6 のミラー M 6 でのケラレが問題となるが、反射型投影光学系 1 0 0 では中間像 I M を第 2 のミラー M 2 と第 3 のミラー M 3 との間に形成することで防いでいる。

【 0 0 4 5 】

反射型投影光学系 1 0 0 の全長は 9 3 3 m m となっており、ミラーの有効径も小さいことから、反射型投影光学系 1 0 0 を構成する鏡筒も小さくなる。E U V 光は空気中で吸収されてしまうため鏡筒内を真空引きする必要があるが、この際に鏡筒の容積が小さければ高真空に保ちやすいことになり、E U V 光の気体での吸収による損失を低減することができる。

【 0 0 4 6 】

また、 $N A = 0 . 2 5$ での各ミラーに対する光線の入射角度の特性を表 2 に示す。

【 0 0 4 7 】

【表2】

ミラー番号	最大値	最小値	分布
M1	12.06°	4.26°	8.34°
M2	9.15°	6.22°	2.93°
M3	14.07°	0.58°	13.49°
M4	7.68°	6.64°	1.03°
M5	17.95°	13.08°	4.88°
M6	6.42°	3.03°	3.39°

【0048】

表2を参照するに、第5のミラーM5では入射角度の最大値が小さく抑えられていることに加えて、集光光束を入射させることで入射角度の分布が非常に小さくなっている。これにより、多層膜を施した場合の第5のミラーM5での反射特性の劣化を低減している。本実施形態の第5のミラーM5の近軸倍率は-0.61、 $NA=0.25$ 換算での周辺光線のなす角は14度である。以上のように、反射型投影光学系100は、入射角度の大きいミラーでは入射角度の分布を小さく、入射角度の分布の大きいミラーでは入射角の最大値を小さくすることで、多層膜を施した場合の反射特性の劣化を防いでいる。

【0049】

一方、図2に示す反射型投影光学系100Aにおいて、像側の開口数 $NA=0.25$ 、縮小倍率 $=1/4$ 、物体高 $=126\text{ mm}$ 乃至 130 mm の 1 mm 幅の円弧状視野である。ここで、図2の反射型投影光学系100Aの数値（曲率半径、面間隔、非球面係数など）を表3に示す。

【0050】

【表 3】

ミラー番号	曲率半径		面間隔
MS(マスク)	∞		630.39040422
M1	∞		-414.889111869
M2	986.30700		1145.14669637
M3	∞		-455.621212317
M4	919.99906		575.973223593
M5	241.54161		-385.799698492
M6	472.69959		429.799698492
W (ウェハ)	∞		0
非球面係数	K	A	B
M1	0.0	0.392913766692E-8	-0.482700852306E-13
M2	5.71467204258	-0.74423961703E-9	-0.218940230513E-14
M3	0.0	0.117641302987E-9	0.437846210229E-13
M4	0.262054559486	0.102681269079E-9	0.402913796893E-15
M5	-0.1333996647252	0.114059493627E-8	0.570575209799E-12
M6	0.029253097984	0.419098009587E-10	0.284038877645E-15
	C	D	E
M1	0.85841732904E-18	-0.573601920195E-22	-0.302379564719E-26
M2	-0.164265249949E-17	0.123119917367E-20	-0.563252413767E-24
M3	-0.209910470364E-17	0.274183093663E-22	0.515594464729E-27
M4	-0.117081986791E-19	0.324154600714E-24	-0.374245169062E-29
M5	-0.859772349117E-16	0.160541027121E-18	-0.162675556918E-21
M6	-0.927844388002E-22	0.334753349725E-24	-0.39683041798E-28

【0051】

図2に示す反射型投影光学系100Aの製造誤差を含まない収差は、波面収差 $=21\lambda\text{rms}$ 、|歪曲最大値| $=2\text{nm}$ である。

【0052】

反射型投影光学系100Aでは、第1のミラーM1が平面鏡であるため、第1のミラーM1からの射出光束と光軸とのなす角を小さくすることができ、光束を光軸近傍でとりまわすことが可能となる。更に、第2のミラーM2から第3のミラーM3へ入射する光束と第4のミラーM4から第5のミラーM5へ入射する光束を交差させており、光束が光軸から大きく離れることを防いでいる。その結果、有効径の最大値は約464mmと非常に小さくなっており、加工計測の点で大きな利点となる。また、光束を光軸近傍でとりまわす際には、有効径が大きな第

6のミラーM6でのケラレが問題となるが、反射型投影光学系100Aでは中間像IMを第2のミラーM2と第3のミラーM3との間に形成することで防いでいる。

【0053】

また、 $NA=0.25$ での各ミラーに対する光線の入射角度の特性を表4に示す。

【0054】

【表4】

ミラー 番号	最大値	最小値	分布
M1	10.97°	2.93°	8.04°
M2	6.96°	6.49°	0.47°
M3	11.24°	2.74°	8.50°
M4	6.29°	3.61°	2.68°
M5	18.10°	7.13°	11.0°
M6	5.05°	2.31°	2.74°

【0055】

表4を参照するに、第5のミラーM5では、集光光束を入射させることで入射角度の分布を小さくしていると共に、第3のミラーM3での入射角度の分布も小さくしている。本実施形態の第5のミラーM5の近軸倍率は -0.15 、 $NA=0.25$ での周辺光線のなす角は3.3度である。

【0056】

以上のように、本発明の反射型投影光学系100及び100Aは、第5のミラーM5に集光光束を入射させることによって、第5のミラーM5上の入射角度の分布を小さくすることができる。これにより、単純な構成の多層膜であっても高い反射率を得ることができ、第5の反射面での反射率の劣化によるスループットの低下を防止することができる。また、反射型投影光学系100及び100Aは、第1のミラーM1を凸面鏡又は平面鏡とし、中間像IMを第1のミラーM1及び第2のミラーM2によって形成することで、有効径の小さな光学系を実現し、

装置の小型化及び加工計測の容易性に優れている。

【0057】

以上の反射型投影光学系100及び100Aの数値実施例から以下のようなことを導き出すことができる。

【0058】

反射型投影光学系100のウェハ（像面）側から2番目のミラー、すなわち第5のミラーM5の近軸倍率が -0.61 であり、反射型投影光学系100Aのウェハ（像面）側から2番目のミラー、すなわち第5のミラーM5の近軸倍率が -0.15 であることから、本実施形態においては、反射型投影光学系のウェハ（像面）側から光路を辿って2番目のミラーの近軸倍率が -0.14 以下、より好ましくは -0.4 以下であることが好ましい。また、下限値としては -30 以上であるのが好ましい。

【0059】

また、反射型投影光学系100、100Aの開口数が 0.25 以上の場合に、ミラーM5に入射する集光光束の周辺光のなす角が 14 度、 3.3 度であることから、反射型投影光学系の開口数が 0.25 以上の場合に、ウェハ側から光路を辿って2番目のミラーに入射する集光光束の周辺光線のなす角が 3 度以上であることが好ましい。より好ましくは 9 度以上であることが好ましい。

【0060】

以下、図3を参照して、本発明の反射型投影光学系100を適用した露光装置200について説明する。図3は、反射型投影光学系100を有する露光装置200の例示的一形態を示す概略構成図である。本発明の露光装置200は、露光用の照明光としてEUV光（例えば、波長 13.4 nm ）を用いて、ステップ・アンド・スキャン方式の露光を行う投影露光装置である。

【0061】

図3を参照するに、露光装置200は、照明装置210と、マスクMSと、マスクMSを載置するマスクステージ220と、反射型投影光学系100と、被処理体Wと、被処理体Wを載置するウェハステージ230と、制御部240とを有する。制御部240は、照明装置210、マスクステージ220及びウェハステ

ージ 230 に制御可能に接続されている。

【0062】

また、図 3 には図示しないが、EUV 光は大気に対する透過率が低いため、少なくとも EUV 光が通る光路は真空雰囲気であることが好ましい。なお、図 3 において、X、Y、Z は 3 次元空間を示し、XY 平面の法線方向を Z 方向としている。

【0063】

照明装置 210 は、反射型投影光学系 100 の円弧状の視野に対応する円弧状の EUV 光（例えば、波長 13.4 nm）によりマスク MS を照明する照明装置であって、図示しない光源と、照明光学系より構成される。なお、照明装置 210 を構成する光源及び照明光学系は当業界で周知のいかなる技術をも適応可能であり、本明細書での詳細な説明は省略する。例えば、照明光学系は、集光光学系、オプティカルインテグレーター、開口絞り、ブレード等を含み、当業者が想達し得るいかなる技術も適用可能である。

【0064】

マスク MS は、反射型又は透過型マスクで、その上には転写されるべき回路パターン（又は像）が形成され、マスクステージ 220 に支持及び駆動される。マスク MS から発せられた回折光は、反射型投影光学系 100 で反射されて被処理体 W 上に投影される。マスク MS と被処理体 W とは、光学的に共役の関係に配置される。露光装置 200 は、ステップ・アンド・スキャン方式の露光装置であるため、マスク MS と被処理体 W を走査することによりマスク MS のパターンを被処理体 W 上に縮小投影する。

【0065】

マスクステージ 220 は、マスク MS を支持して図示しない移動機構に接続されている。マスクステージ 220 は、当業界周知のいかなる構成をも適用することができる。例えば、図示しないリニアモーターなどで構成され、制御部 240 に制御されながら少なくとも Y 方向にマスクステージ 220 を駆動することでマスク MS を移動することができる。露光装置 200 は、マスク MS と被処理体 W を制御部 240 によって同期した状態で走査する。

【0066】

反射型投影光学系100は、マスクMS面上のパターンを像面上に縮小投影する反射型光学系である。反射型投影光学系100は、上述した通りのいかなる形態をも適用可能であり、ここでの詳細な説明は省略する。なお、図3では、図1に示す反射型投影光学系100を使用するが、かかる形態は例示的であり本発明はこれに限定されない。例えば、図2に示す反射型投影光学系100Aを使用することもできる。

【0067】

被処理体Wは、本実施形態ではウェハであるが、液晶基板その他の被処理体を広く含む。被処理体Wには、フォトリソが塗布されている。

【0068】

ウェハステージ230は、被処理体Wを支持する。ウェハステージ230は、例えば、リニアモーターを利用してXYZ方向に被処理体Wを移動する。また、マスクステージ220とウェハステージ230の位置は、例えば、レーザー干渉計などにより監視され、両者は一定の速度比率で駆動される。

【0069】

制御部240は、図示しないCPU、メモリを有し、露光装置200の動作を制御する。制御部240は、照明装置210、マスクステージ220（即ち、マスクステージ220の図示しない移動機構）、ウェハステージ230（即ち、ウェハステージ230の図示しない移動機構）と電氣的に接続されている。CPUは、MPUなど名前の如何を問わずいかなるプロセッサも含み、各部の動作を制御する。メモリは、ROM及びRAMより構成され、露光装置200を動作するファームウェアを格納する。

【0070】

露光において、照明装置210から射出されたEUV光はマスクMSを照明し、マスクMS面上のパターンを被処理体W面上に結像する。本実施形態において、像面は円弧状（リング状）の像面となり、マスクMSと被処理体Wを縮小倍率比の速度比でスキャンすることにより、マスクMSの全面を露光する。

【0071】

次に、図4及び図5を参照して、露光装置200を利用したデバイス製造方法の実施例を説明する。図4は、デバイス（ICやLSIなどの半導体チップ、LCD、CCD等）の製造を説明するためのフローチャートである。ここでは、半導体チップの製造を例に説明する。ステップ1（回路設計）では、デバイスの回路設計を行う。ステップ2（マスク製作）では、設計した回路パターンを形成したマスクを製作する。ステップ3（ウェハ製造）では、シリコンなどの材料を用いてウェハを製造する。ステップ4（ウェハプロセス）は、前工程と呼ばれ、マスクとウェハを用いてリソグラフィ技術によってウェハ上に実際の回路を形成する。ステップ5（組み立て）は、後工程と呼ばれ、ステップ4によって作成されたウェハを用いて半導体チップ化する工程であり、アッセンブリ工程（ダイシング、ボンディング）、パッケージング工程（チップ封入）等の工程を含む。ステップ6（検査）では、ステップ5で作成された半導体デバイスの動作確認テスト、耐久性テストなどの検査を行う。こうした工程を経て半導体デバイスが完成し、これが出荷（ステップ7）される。

【0072】

図5は、ステップ4のウェハプロセスの詳細なフローチャートである。ステップ11（酸化）では、ウェハの表面を酸化させる。ステップ12（CVD）では、ウェハの表面に絶縁膜を形成する。ステップ13（電極形成）では、ウェハ上に電極を蒸着などによって形成する。ステップ14（イオン打ち込み）では、ウェハにイオンを打ち込む。ステップ15（レジスト処理）では、ウェハに感光剤を塗布する。ステップ16（露光）では、露光装置200によってマスクの回路パターンをウェハに露光する。ステップ17（現像）では、露光したウェハを現像する。ステップ18（エッチング）では、現像したレジスト像以外の部分を削り取る。ステップ19（レジスト剥離）では、エッチングが済んで不要となったレジストを取り除く。これらのステップを繰り返し行うことによってウェハ上に多重の回路パターンが形成される。かかるデバイス製造方法によれば、従来よりも高品位のデバイスを製造することができる。このように、露光装置200を使用するデバイス製造方法、並びに結果物としてのデバイスも本発明の一側面を構成する。

【0073】

以上、本発明の好ましい実施例について説明したが、本発明はこれらの実施例に限定されないことはいうまでもなく、その要旨の範囲内で種々の変形及び変更が可能である。例えば、本発明は、ArFエキシマレーザーやF₂レーザーなどのEUV光以外の波長200nm以下の紫外線用の反射型投影光学系として用いることもでき、大画面をスキャン露光する露光装置にもスキャンしない露光をする露光装置にも適用可能である。

【0074】

本出願は、更に以下の事項を開示する。

【0075】

〔実施態様1〕 物体面上のパターンを像面上に投影する反射型投影光学系であって、

前記像面から光路を辿って2番目のミラーに集光光束が入射すると共に、当該ミラーの近軸倍率が -0.14 以下であることを特徴とする反射型投影光学系。

【0076】

〔実施態様2〕 物体面上のパターンを像面上に縮小投影する反射型投影光学系であって、

前記像面から光路を辿って2番目のミラーに集光光束が入射すると共に、当該集光光束の周辺光線のなす角が、前記反射型投影光学系の開口数が 0.25 以上の場合に3度以上であることを特徴とする反射型投影光学系。

【0077】

〔実施態様3〕 前記反射型投影光学系は、6枚以上のミラーを有することを特徴とする実施態様1又は2記載の反射型投影光学系。

【0078】

〔実施態様4〕 前記像面から光路を辿って3番目のミラーは、最も有効径が大きいことを特徴とする実施態様1乃至3のうちいずれか一項記載の反射型投影光学系。

【0079】

〔実施態様5〕 前記反射型投影光学系を構成するミラーはすべてEUV光を

反射する多層膜を有する非球面ミラーであることを特徴とする実施態様 1 乃至 4 のうちいずれか一項記載の反射型投影光学系。

【0080】

〔実施態様 6〕 前記物体面上に配置された反射型マスクからの反射光を投影することを特徴とする実施態様 1 乃至 5 のうちいずれか一項記載の反射型投影光学系。

【0081】

〔実施態様 7〕 前記物体面側が非テレセントリックであることを特徴とする実施態様 1 乃至 6 のうちいずれか一項記載の反射型投影光学系。

【0082】

〔実施態様 8〕 物体面上のパターンを像面上に縮小投影する反射型投影光学系であって、

前記物体面から前記像面にかけて光路に沿って、第 1 のミラー、第 2 のミラー、第 3 のミラー、第 4 のミラー、第 5 のミラー、第 6 のミラーの順に光を反射する 6 枚のミラーを有し、

前記第 1 のミラーが凸面形状又は平面形状を有しており、前記第 5 のミラーには集光光束が入射することを特徴とする反射型投影光学系。

【0083】

〔実施態様 9〕 前記第 5 のミラーの近軸倍率は、 -0.14 以下であることを特徴とする実施態様 8 記載の反射型投影光学系。

【0084】

〔実施態様 10〕 前記反射型投影光学系の開口数が 0.25 以上の場合に、前記集光光束の周辺光のなす角が 3 度以上であることを特徴とする実施態様 8 又は 9 記載の反射型投影光学系。

【0085】

〔実施態様 11〕 前記投影光学系の光路中に中間像を形成することを特徴とする実施態様 1 乃至 10 のうちいずれか一項記載の反射型投影光学系。

【0086】

〔実施態様 12〕 前記中間像が、前記反射型投影光学系が有するミラー面と

一致していないことを特徴とする実施態様 11 記載の反射型投影光学系。

【0087】

〔実施態様 13〕 前記反射型投影光学系の前記パターンからの光を反射するすべてのミラーが、前記物体面と前記像面の間に配置されていることを特徴とする実施態様 1 乃至 12 のうちいずれか一項記載の反射型投影光学系。

【0088】

〔実施態様 14〕 前記像面から光路を辿って 2 番目のミラーの近軸倍率が -3.0 以上、 -0.4 以下であることを特徴とする実施態様 1 乃至 13 のうちいずれか一項記載の反射型投影光学系。

【0089】

〔実施態様 15〕 前記第 5 のミラーの近軸倍率が、 -3.0 以上、 -0.4 以下であることを特徴とする実施態様 8 記載の反射型投影光学系。

【0090】

〔実施態様 16〕 前記投影光学系の開口数が 0.25 以上の場合に、前記集光光束の周辺光線のなす角が 9 度以上であることを特徴とする実施態様 1 乃至 15 のうちいずれか一項記載の反射型投影光学系。

【0091】

〔実施態様 17〕 前記物体面側から前記像面側にかけて順に、前記第 2 のミラー、前記第 1 のミラー、前記第 4 のミラー、前記第 6 のミラー、前記第 3 のミラー、前記第 5 のミラーが配置されており、前記第 4 のミラーと前記第 3 のミラーとの間に中間像を形成することを特徴とする実施態様 8 記載の反射型投影光学系。

【0092】

〔実施態様 18〕 前記中間像を前記第 4 のミラーと前記第 6 のミラーとの間に形成することを特徴とする実施態様 17 記載の反射型投影光学系。

【0093】

〔実施態様 19〕 前記中間像を前記第 6 のミラーと前記第 6 のミラーとの間に形成することを特徴とする実施態様 17 記載の反射型投影光学系。

【0094】

〔実施態様 20〕 実施態様 1 乃至 19 のうちいずれか一項記載の反射型投影光学系と、

前記物体面上にマスクのパターンを位置付けるべく当該マスクを保持するマスクステージと、

前記像面上に感光層を位置付けるべく被処理体を保持するウェハステージと、

前記 E U V 光で前記マスクを照明する状態で前記マスクステージ及び前記ウェハステージを同期して走査する手段とを有することを特徴とする露光装置。

【0095】

〔実施態様 21〕 光源からの光で前記パターンを照明する照明光学系と、前記パターンからの光を前記像面上に投影する、実施態様 1 乃至 19 のうちいずれか一項記載の反射型投影光学系とを有することを特徴とする露光装置。

【0096】

〔実施態様 22〕 前記反射型投影光学系は、前記パターンからの反射光を前記像面上に投影することを特徴とする実施態様 21 記載の露光装置。

【0097】

〔実施態様 23〕 実施態様 20 乃至 22 のうちいずれか一項記載の露光装置を用いて被処理体を露光するステップと、

露光された前記被処理体に所定のプロセスを行うステップとを有することを特徴とするデバイス製造方法。

【0098】

【発明の効果】

本発明によれば、E U V リソグラフィーに適用可能で、高 N A、且つ、ミラーの最大有効径及び光学系の全長が小さく、スループットに優れた 6 枚ミラー系を実現することができる反射型投影光学系を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明の一側面としての反射型投影光学系の例示的一形態及びその光路を示した概略断面図である。

【図 2】 図 1 に示す反射型投影光学系の別の形態を示した反射型投影光学系及びその光路を示す概略断面図である。

【図3】 図1に示す反射型投影光学系を有する露光装置の例示的一形態を示す概略構成図である。

【図4】 デバイス（ICやLSIなどの半導体チップ、LCD、CCD等）の製造を説明するためのフローチャートである。

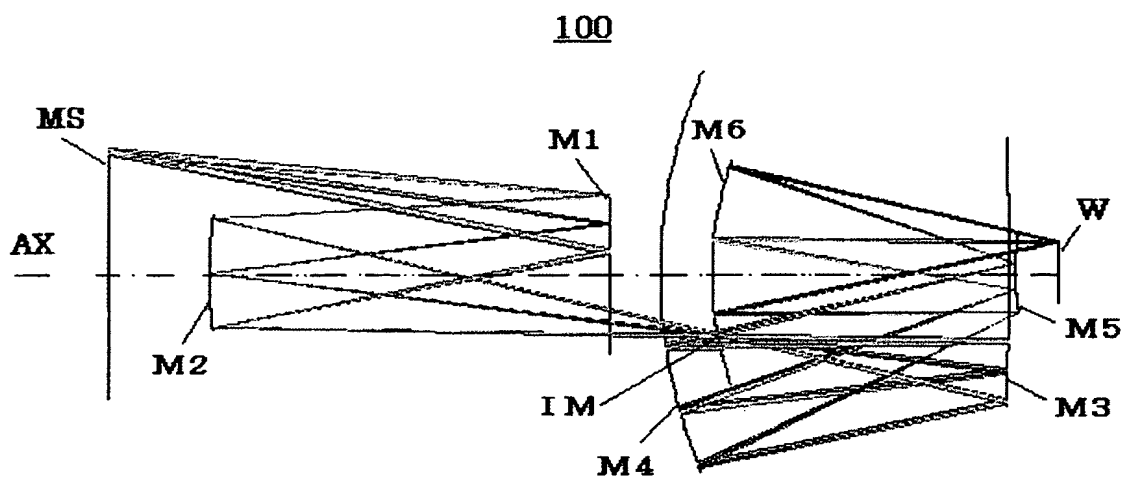
【図5】 図4に示すステップ4のウェハプロセスの詳細なフローチャートである。

【符号の説明】

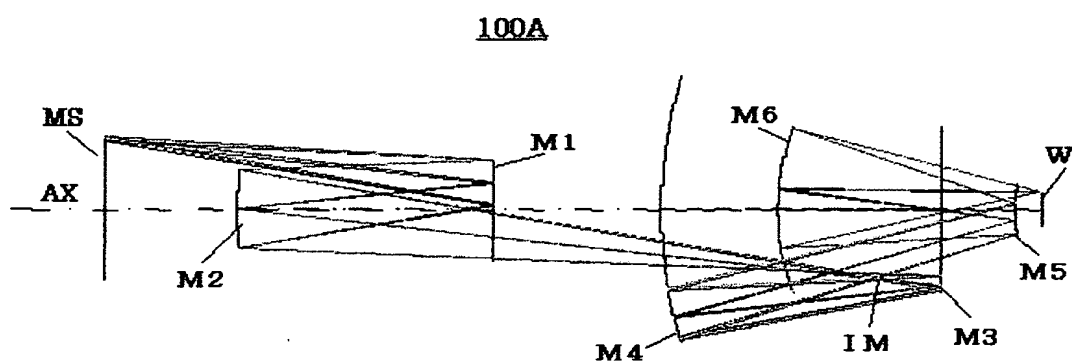
100、100A	反射型投影光学系
200	露光装置
210	照明装置
220	マスクステージ
230	ウェハステージ
240	制御部
M1	第1のミラー
M2	第2のミラー
M3	第3のミラー
M4	第4のミラー
M5	第5のミラー
M6	第6のミラー
MS	物体面（マスク）
W	像面（ウェハ）
IM	中間像

【書類名】 図面

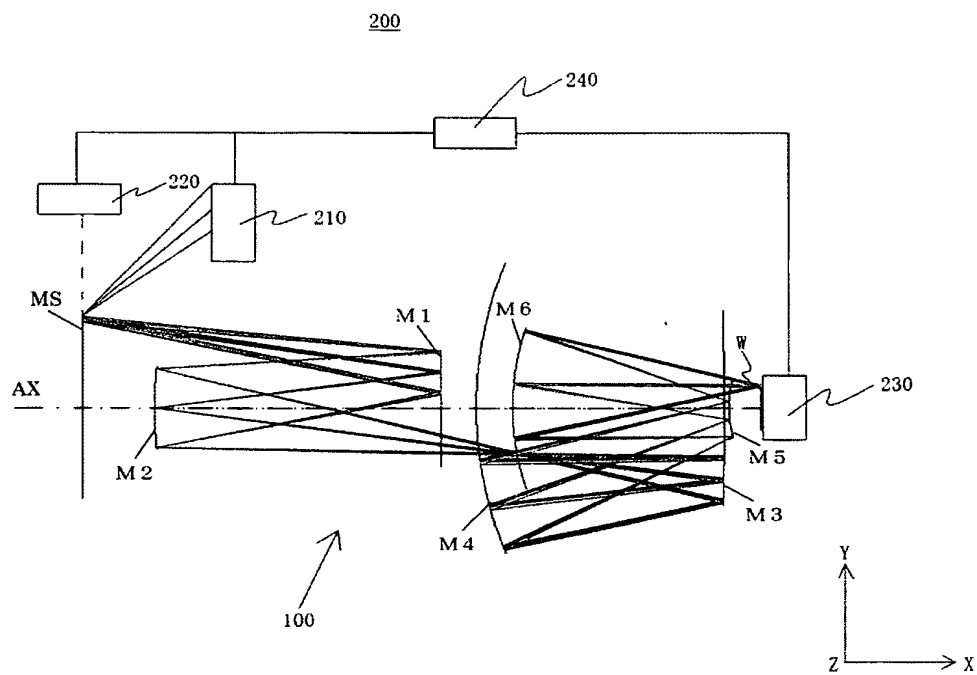
【図 1】



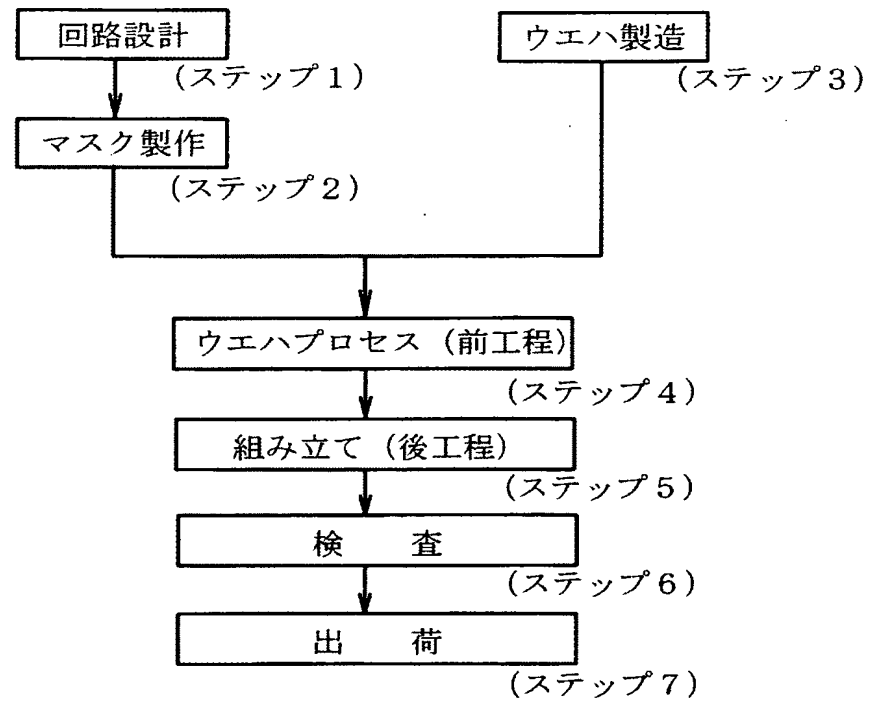
【図 2】



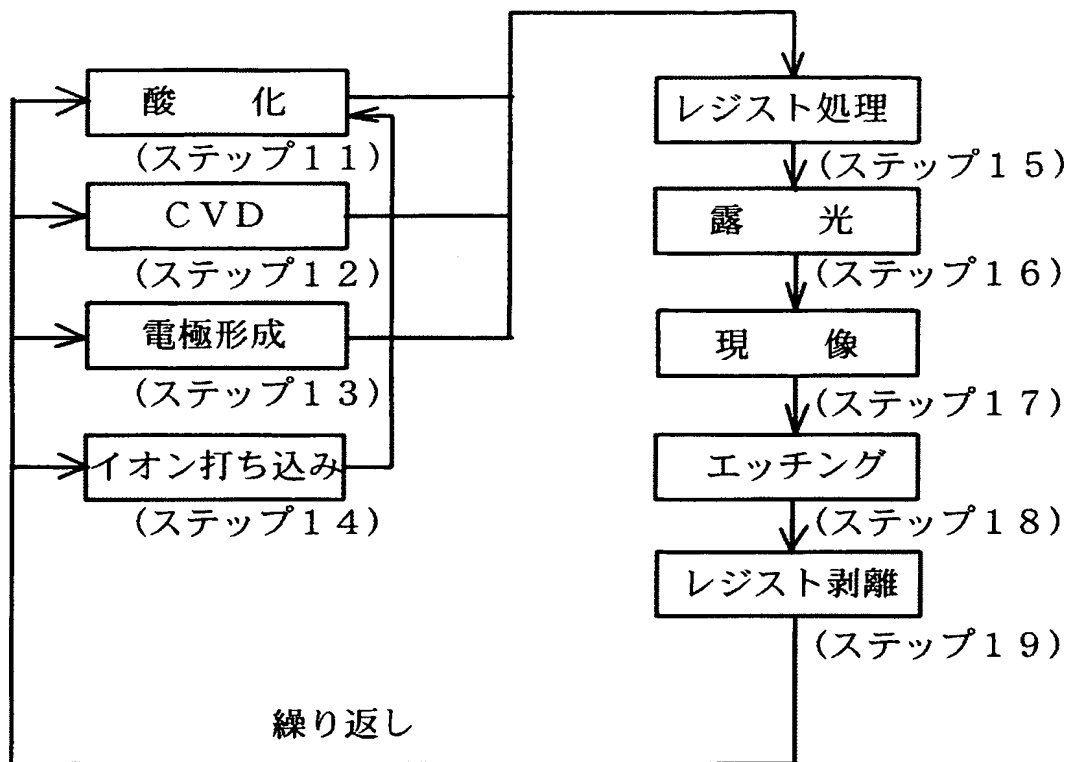
【図 3】



【図 4】



【図 5】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 E U V リソグラフィーに適用可能で、高 N A、且つ、ミラーの最大有効径及び光学系の全長が小さく、スループットに優れた 6 枚ミラー系を実現することができる反射型投影光学系を提供する。

【解決手段】 物体面上のパターンを像面上に投影する反射型投影光学系であって、前記像面から光路を辿って 2 番目のミラーに集光光束が入射すると共に、当該ミラーの近軸倍率が -0.14 以下であることを特徴とする反射型投影光学系を提供する。

【選択図】 図 1

特願 2 0 0 3 - 0 4 4 8 9 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 1 0 0 7]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 3 0 日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都大田区下丸子 3 丁目 3 0 番 2 号

氏 名

キャノン株式会社